

電子顕微鏡で探る「玉滴石」生成の謎

赤羽久忠

みなさんは、図1のような石を見たことがありますか？

これは、立山温泉の新湯というところからとれた玉滴石（ぎょくてきせき）という石です。とれたのは、今から100年くらい前までで、図のような丸くてたいへん美しい1～2ミリほどの天然のガラス玉が集まったようなものです。

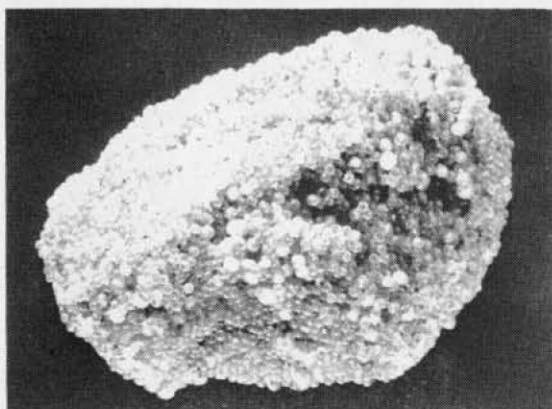


図1：昔、立山温泉新湯より産出した玉滴石 ×0.9
("Introduction to Japanese Minerals"より)

玉滴石は、ひとつひとつの粒がバラバラに離れていることもあります。また、それぞれの粒の中心にはみな砂粒などが入っています。この「玉滴石」は、学問的には「鮐状珪石」とか「魚卵状珪石」ですが、富山では「玉滴石」と呼ばれています。玉滴石は全国的にも3～4ヶ所が知られているだけですが、その中でも立山温泉新湯産のものが一番美しいということです。新湯の玉滴石については、明治26年～明治36年にかけて神保小虎、吉沢庄作、篠本二郎といった人々によって報告されています。神保氏によれば、明治30年頃新湯を訪れたけれども、もはや採集できなかったということです。当時は写真のようなものや、あるいはバラバラに離れたものをビンなどに入れて持っている人はたくさんいたということです。

富山県は、鉱物資源の少ない県ですが、「玉滴石」は、数少ない「全国に誇れる鉱物」の一つなのです。

＜玉滴石のでき方—これまでの研究＞

さて、以前採れた玉滴石については、1893年～1903年にかけて神保小虎・篠本二郎の両名が顕微鏡を使って細かな観察をして(図2)、玉滴石のでき方についての考えを発表しました。



図2：玉滴石の切り口のスケッチ（神保 1904）

これらの研究を私なりにまとめてみますと、玉滴石はだいたい図3のようにして生成されたということになります。

まず、新湯の湖の底から噴き出した温泉水は、地下を通ってくる間に溶かしこんだたくさんの石英の成分(SiO_2)を含んでいます。温泉水は噴き出ることによって温度も圧力も下がり、溶けきれなくなった SiO_2 が巻き上げられている砂粒にくっついて、雪だるま式に大きくなったというわけです。

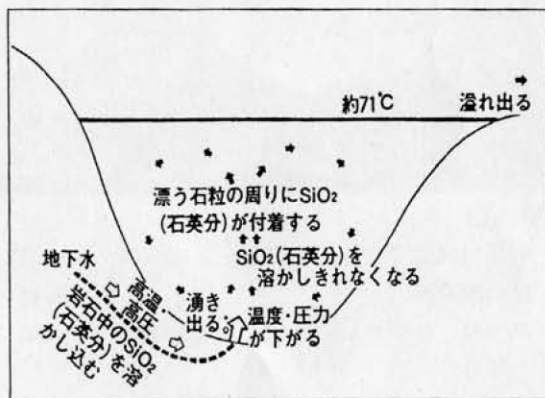


図3：玉滴石のでき方

100年近くも昔、これだけの細かなスケッチにもとづいて玉滴石のでき方について研究できたのは、顕微鏡のおかげです。特に、偏光顕微鏡とい

いうものを使って石などを調べることは、まだ始まったばかりでしたが、その力を示すには十分な効果をあげたことでしょう。

しかし、当時としては観察できる限界はここまででした。ですから、具体的にどのようなメカニズムで玉滴石がおおきくなっていくのか、玉滴石の表面の細かな様子については、観察もできなかったし、研究することもむずかしかったわけです。その後、この玉滴石について本格的研究はなされておられませんでした。

＜新しい手法—走査型電子顕微鏡＞

電子顕微鏡にはいくつかの種類がありますが、物体の表面の様子を拡大して観察する時には走査型電子顕微鏡というものを uses。

走査型電子顕微鏡（以下「走査電顕」と書きましょう）は、普通の顕微鏡で観察できなかったような小さなものを、少しくらい凸凹があってもはっきりと観察することができます。

昨年、富山市科学文化センターにも走査電顕が入りました。そこで、さっそくそれを使って玉滴石の表面を観察してみました。

実体顕微鏡でも、玉滴石の表面がかなり凸凹していることがわかります(図4)。そこで、この玉滴石の表面をさらに細かく調べて、表面で何が起きているのかを調べてみたわけです。

走査電顕は、このような目的に適した顕微鏡です。図4と図5を比べて見れば、走査電顕が倍率をずいぶん上げて観察できること、そして遠いところから近いところまで全体をはっきり見ることができるということがよくわかるでしょう。



図4：玉滴石の実体顕微鏡による観察 ×20

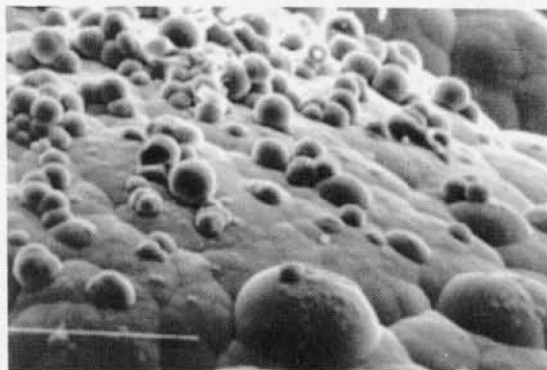


図5：玉滴石の表面の走査型電子顕微鏡写真 ×600

図5は、走査電顕により初めて見ることでできた玉滴石の表面の細かな様子です。これをみると、玉滴石の表面には100分の1～3ミリ程の小さな丸い粒が、ダンゴのようになって、たくさんくっついていて。この様子からみなさんは何を読みとりますか？ 刑事コロンボになったつもりで、何かの事件があった証拠を読み取ってください。

私は、これまでの玉滴石のでき方に関する研究などを参考にして、次のように考えました。

「玉滴石は、表面にある小さな丸い粒をどんどんくっつけて大きくなった。くっついた粒は、初めはまだ柔らかくて、玉滴石にどんどん合体してひとつになっていった。」

図5では、丸い粒が玉滴石に合体していく途中の様子がいろいろ見られるというわけです。

では、図5の玉滴石の表面にたくさんくっついていて丸い粒は、いったい何でしょうか？この問題は、さらに別の部分について走査電顕で調べてみることによってわかってきました。

採集した玉滴石に混って、まっ白の部分(図6)があります。この部分についても走査電顕で調べてみました(図7)。



図6：玉滴石とそれを埋める白色の部分、切断して磨いたもの

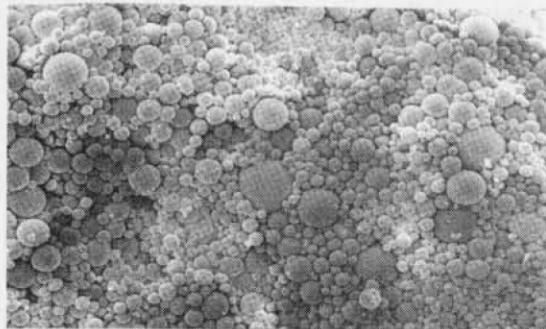


図7：新湯産オパールの走査型電子顕微鏡写真、サイズの違う球体からできている ×200

驚いたことに、この白い部分は、やはり 100分の1～3ミリほどの丸いダンゴのようなものからできていたのです。そしてこの“ダンゴ”は、図5の玉滴石の表面にたくさん付着しているものと同じものだったのです。

いろいろ調べてみるとこの部分は、美しい宝石になってはいませんが、オパール（たん白石）であることがわかりました。美しいオパールも、どんどん拡大して見ると、このような小さな丸い玉でできているのです。立山温泉新湯の玉滴石は、オパールをつくるような玉をどんどん合体して大きくなったものだったのです。これらのことは、走査電顕で観察することができるようになって初めてわかってきたことです。

どうですか？ 走査電顕ってすごい顕微鏡だなんて思いませんか？

＜オパールの美しさの秘密＞

オパール（たん白石）には、宝石になるような美しいもの（プレシャスオパール）と、ただ真っ白で宝石としての価値の全くないもの（コモノオパール）とがあります。新湯からとれたものは、もちろんコモノオパールということになります。

オパールの美しい色の原因は、細かな割れ目があって、そこでの光の干渉（かんしょう）という現象でしゃぼん玉が色づくようにして、きれいに光ると考えられていました。しかし、電子顕微鏡が進歩してきた1970年代に、オーストラリアや日本の研究者たちによって新しい理論が生まれました。それは、10000分の2ミリメートル～10000分の3ミリメートル程の大きさの揃った玉の規則正しい並び方によって光が回折（進む方向が折れ曲がること）という現象をおこしているからだ、とい

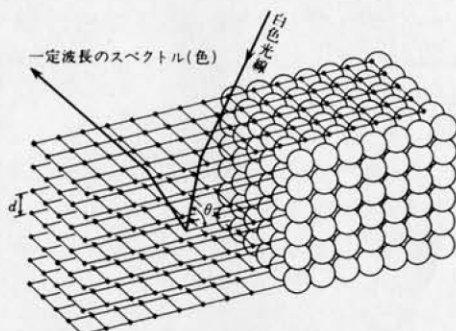


図8：オパールの虹色の原理（「宝石はかたる」砂川一郎著）より

うのです。

具体的には、10000分の2ミリメートル程の玉が規則正しく並べば紫色のオパールになり、10000分の3ミリメートル程の玉が規則正しく並べば赤色のオパールになるというわけです。新湯産のオパールは玉が大きくて、サイズもバラバラなので、宝石のような美しさは全くありません。



図9：プレシャスオパールの電子顕微鏡写真（撮影：秋月瑞彦氏、「宝石は語る」より）

宝石としてのオパールは、オーストラリア産のものが最も多く、「世界のオパールの価格を支配している」とも言われています。オーストラリア産のオパールは、乾燥した砂漠地帯で地下水に溶けていた二酸化ケイ素（ SiO_2 ）が、水の蒸発によって溶けきれなくなって非常に細かなコロイド状の粒子になって、これが静かに沈殿したものです。一方、メキシコ産のオパールも有名ですが、これは、火山岩の中で採れたものですから、新湯のオパールと似たような環境の温泉から沈殿したものかも知れません。

どちらの場合でも、宝石になるようなオパールができるためには、集まった玉の大きさがそろっていないとダメです。そのためには、静かな

環境でゆっくり時間をかけて沈殿する必要があると思います。

立山温泉の新湯は、昔の爆裂火口の底から湯がわき出て、あふれた湯が湯川に注いでいます。

このような場所ですからとても“静かな環境”とは言えません。こういった環境の違いも美しいオパールになるか否かを決める要素の一つになっているのでしょう。

＜玉滴石のでき方＞

これまで述べた、玉滴石の走査電顕による観察結果から、玉滴石が大きくなっていくメカニズムを考えてみました。

図5の写真は、玉滴石がオパール（たん白石）の玉を取り込んで合体し・大きくなっていく様子をとらえたものだといえます。

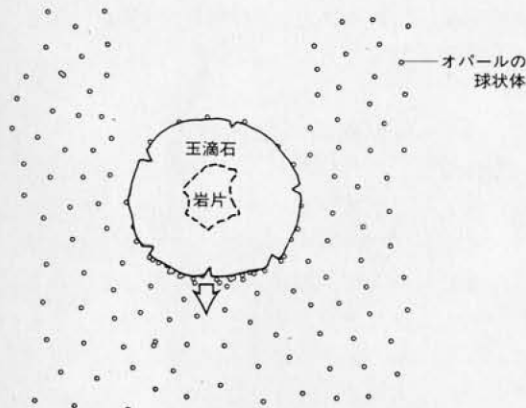


図10：新湯の玉滴石とオパールの生成（概念図）

立山温泉新湯では、二酸化ケイ素（ SiO_2 ）を含んだ熱い温泉水が底からわき出ています。温泉水は、地下からわき出ることによって温度や圧力が下がります。そうすると、温泉水に溶けていた物質は溶けきれなくなって、温泉水中を非常に小さいコロイド状の粒子となってただようことになります。そのコロイド状の粒子は、非常に小さいのでほとんど沈殿せず、水が動いてもあまり他の粒子とぶつかったり合体することなく、粒子の大きさもあまり大きくなりません。一方、温泉水が動くことによって巻き上げられた砂などの粒は、大きくて重いので、沈殿し、まわりのコロイド状粒子とぶつかって、それを合体し取り込んで大きくなっていきます。コロイド状の粒子が長い時間かかってそのまま沈殿したものは、オパールになるというわけです。

このようなことは、ふつうの顕微鏡で観察してもわからなかったことですが、今回、走査電顕で観察してみて初めてわかったことです。ただし、どんな場合でも倍率をどんどん上げて行けば秘密のベールがどんどんはがれるかといえば、そんなことはありません。どんな問題を明らかにしたいかによって、ちょうどよい倍率というものがあります。言い方を変えると、今回は、たまたま走査電顕で観察するのにちょうどよい倍率のところに秘密がかくされていたといえることができるでしょう。

電子顕微鏡に限らず自然を見ると、そのまま見るのも大切ですが、いろんな割合で拡大したり縮小したりしてみると、意外なところであっと驚くような秘密を発見するかも知れませんよ。

（あかはね ひさただ 岩石担当）

新刊紹介

とやまの自然がひと目でわかる本



富山市科学文化センターができて10年目を迎えたことを記念して、富山の自然をたっぷりと楽しめる本を出版しました。

この本は、過去10年間に寄せられた多くの質問を整理し、質問に学芸員が答えるQ&Aの形式です。資料もたくさん載せていますので、楽しいイラストを見ながら親子でいっしょに学べます。また、学芸員のちょっとしたハプニングも織りまぜ、たいへん味のある本になっています。

A 5版。224頁。定価 1,100円